

La comprensión de un aspecto de la naturaleza de ciencia y tecnología: Una experiencia innovadora para profesores en formación inicial^(*)

Ángel Vázquez Alonso¹, María Antonia Manassero Mas²

Universidad de las Islas Baleares, España. E-mail: ¹angel.vazquez@uib.es; ²ma.manassero@uib.es;

[Recibido en enero de 2013, aceptado en septiembre de 2013]

Este estudio afronta el problema educativo de formar al profesorado de ciencias sobre cuestiones innovadoras de la enseñanza de la ciencia como son los temas de naturaleza de la ciencia y la tecnología, es decir, las cuestiones acerca de cómo la ciencia y la tecnología (CyT) validan su conocimiento y sus prácticas y cómo funcionan en el mundo actual. Se presenta el análisis del caso de un profesor en el máster de formación inicial de secundaria después de unas actividades de aprendizaje explícitas, reflexivas, basadas en el conocimiento didáctico del contenido acerca de la toma de decisiones científicas en investigaciones. Los efectos de la formación se evalúan a través de una metodología casi-experimental mediante un diseño pre- post-test que aplica un instrumento de evaluación estandarizado. Los resultados presentan los aspectos específicos donde el profesor mejoró más su comprensión, así como las reflexiones personales y las justificaciones cualitativas realizadas acerca de las respuestas y de los cambios producidos en su comprensión del tema. Finalmente, se discute la viabilidad y la generalización del modelo de formación inicial propuesto para el profesorado de ciencias.

Palabras clave: Naturaleza de ciencia y tecnología; formación del profesorado; evaluación; alfabetización en ciencia y tecnología; competencia básica en ciencia y tecnología.

Understanding the nature of science and technology: An innovative experience for teachers' initial training

This study addresses the initial training of science teachers on the innovative science issues about the nature of science and technology topics, that is to say, the topics about how science and technology (S&T) validate their knowledge and practices, and how they work in today's world. A case analysis of a high school science teacher in his initial training performing some explicit, reflective, pedagogical content knowledge-based learning activities about decision making on scientific research is presented. The effects of training on teacher's beliefs are evaluated through a quasi-experimental methodology that applies a standardized assessment instrument in a pre-post design. The results show the specific aspects where the teacher got highest improvement in his understanding of the nature of science and technology; further, his personal reflections and qualitative justifications about responses and changes are also analyzed. Finally, the feasibility and the generalizability of the proposed model of initial training for science teachers are discussed.

Keywords: Nature of science and technology; teacher training; assessment; science and technology literacy; key competence in science and technology.

^(*)Proyecto de Investigación EDU2010-16553 financiado por una ayuda del Plan Nacional de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación (España).

Introducción

La alfabetización científica (o cultura científica) es uno de los conceptos fundamentales de la actual didáctica de la ciencia, dirigida a formar y preparar en ciencia a todos los ciudadanos para comprender y vivir mejor en el mundo actual, tan impregnado de ciencia y tecnología (CyT). En este ámbito, hoy es ampliamente admitido que la alfabetización científica de todos los ciudadanos tiene dos componentes básicos: la comprensión “de” la ciencia, que engloba los tradicionales conocimientos sobre hechos, conceptos, principios y procesos de la ciencia, y la comprensión “acerca” de la ciencia, que se refiere a conocer cómo opera la ciencia para validar sus conocimientos. Esta última se denomina usualmente naturaleza de la ciencia en la

literatura anglosajona (Abd-El-Khalick, Bell, y Lederman 1998; Hodson, 2009; Millar, 2006; Rudolph, 2000).

En otras palabras, naturaleza de la ciencia es el lema actual que trata de incorporar en la educación científica contenidos interdisciplinarios de filosofía, historia y sociología de la ciencia. En estos contenidos también tiene un amplio reconocimiento actualmente la profunda interacción entre ciencia y tecnología (CyT), que lleva a una cierta integración de ambas para generar un nuevo ente, que desde hace años se denomina tecnociencia. Esta integración entre CyT se puede extender de una manera natural a la validación y construcción del conocimiento científico, pues este se apoya tanto en los diseños científicos, como en el funcionamiento y operación de las tecnologías científicas (instrumentación), así como en el conocimiento tecnológico, que se sostiene tanto en el conocimiento científico como en el práctico, y en las relaciones de ambas con la sociedad (Sismondo, 2004). Para el ámbito educativo, esta integración entre CyT también se puede trasladar, por analogía, en la denominación integrada de naturaleza de la ciencia y la tecnología (NdCyT), que se usará en adelante para describir los conocimientos acerca de cómo la CyT operan integradamente en el mundo actual (Tala, 2009).

La NdCyT es un conjunto de meta-conocimientos (conocimiento sobre el conocimiento) acerca de qué es y cómo funcionan CyT integralmente en el mundo actual. Estos se han desarrollado desde diversas perspectivas académicas, especialmente desde la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia y tecnología, pero también la psicología, la economía, la política, la ética y otras realizan importantes contribuciones. El asunto central de NdCyT es la construcción del conocimiento científico, que incluye desde luego y en primer plano cuestiones epistemológicas (los principios filosóficos que fundamentan la validación del conocimiento), pero también cuestiones no menos importantes acerca de las relaciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad (CTS), que se reconocen como sociología interna de la ciencia (centrada en la comunidad científica, el trabajo de los científicos y la construcción social del conocimiento), la interacción ciencia-tecnología (ya bosquejada en el párrafo anterior en la propuesta de tecnociencia), y la sociología externa de CyT, que se centra en las influencias mutuas entre la sociedad y el sistema científico-tecnológico (Bennássar, García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2010).

Los expertos en didáctica de la ciencia consideran la inclusión del ámbito NdCyT en la educación un objetivo importante, por ser uno de los dos componentes básicos de la alfabetización científica y tecnológica para todas las personas (Millar y Osborne, 1998). Además, NdCyT representa un reto innovador para la investigación didáctica y para la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia, no solo por la propia novedad del tema, cuya importancia se ha reconocido recientemente, sino también por su propia complejidad, que constituye un factor añadido de dificultad (McComas y Olson, 1998).

A pesar del reconocimiento de la importancia de la NdCyT para la alfabetización científica, que entre otras cosas debería suponer una actualización de la visión de la CyT acorde con las propuestas actuales de la filosofía, historia y sociología de CyT, en los currículos escolares se mantiene la imagen positivista tradicional de la ciencia (un cuerpo de conocimientos objetivos, basados en hechos, descubiertos principalmente a través de métodos inductivos), hoy desfasada. Los profundos cambios en la imagen de CyT propuestos en las décadas anteriores desde la filosofía de la ciencia no comenzaron a reflejarse en los currículos escolares hasta la década de los años 90 del siglo XX (Duschl, 1988; Hodson, 1988).

En esa década, algunos países comenzaron a diseñar currículos escolares de ciencias que presentaban CyT desde las propuestas modernas de la historia, filosofía y sociología de la ciencia. El proyecto 2061 de EUA es pionero (AAAS, 1989, 1993), pero también otros en diferentes países anglosajones. McComas y Olson (1998) analizaron ocho de estos

documentos para identificar treinta aspectos de historia, filosofía, psicología y sociología de CyT compartidos, en distinto grado, por esos documentos que podrían constituir un núcleo básico de contenidos curriculares para NdCyT. En España, la ley de educación de 1990 (LOGSE) no incluyó la NdCyT de manera sistemática, sino a través de referencias demasiado aisladas e implícitas para suscitar ningún cambio; quizá el esfuerzo más reseñable fue la creación de una asignatura en bachillerato (Ciencia, tecnología, sociedad) que asume estos planteamientos, aunque por ser optativa, fue minoritaria. La ley de educación de 2006 incluye contenidos sistemáticos de NdCyT en los “bloques comunes” de las asignaturas de ciencias y algunas menciones asistemáticas a lo largo del currículo, pero son poco explícitos y muy mixtificados con los procesos de la ciencia; además, crea una asignatura común para todos los alumnos en el primer curso de Bachillerato (Ciencias para el mundo contemporáneo), cuyo bloque de contenidos comunes ofrece el diseño más completo de contenidos de NdCyT (Vázquez y Manassero, 2012b).

Una vez que los currículos normativizan los contenidos para la enseñanza de la NdCyT, surgen otras dificultades reales para su implementación en las aulas. Los principales inconvenientes de la enseñanza de la NdCyT se centran en torno a dos factores claves para la educación: por un lado, el carácter innovador de la enseñanza de la NdCyT (y por tanto, generador de resistencias características para su institucionalización en el aula) y, por otro lado, la escasa o nula atención a la formación del profesorado encargado del desarrollo curricular de estos contenidos en el aula, lo cual es una patología muy común y extendida (Matthews, 1994).

La comprensión del profesorado sobre naturaleza de ciencia y tecnología

La investigación empírica en didáctica de las ciencias muestra de modo consistente y reiterado a lo largo de los últimos años que la educación sobre NdCyT se enfrenta a un obstáculo persistente: los profesores (y también los estudiantes) no tienen una comprensión adecuada sobre NdCyT, y este es el principal obstáculo para su enseñanza (Vázquez y Manassero, 2012a). Estos resultados negativos han sido confirmados con profesores de diversos países, a pesar, incluso, de los defectos de los instrumentos y las diferentes metodologías empleadas y de los matices y las diferencias halladas entre algunos grupos (Bennássar, Vázquez, Manassero y García-Carmona, 2010; García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2011; Lederman, 2008).

El conocimiento de los contenidos, las ideas previas y la comprensión de NdCyT de los profesores constituyen una condición necesaria (aunque no suficiente) para su enseñanza en el aula. Pero también son un factor determinante de la enseñanza general de la ciencia que dispensan, pues la comprensión de la NdCyT del profesor (oculta o explícita) influye sobre la forma y el contenido de su enseñanza, y en consecuencia, sobre los aprendizajes que genera. Como nadie puede enseñar aquello que no domina, la investigación sobre las concepciones de los profesores es importante para mejorarlas y para la mejora consecuente de la enseñanza general de la ciencia (Lederman, 1999; Mellado, 1998; Tsai, 2007).

A lo largo del tiempo, distintas investigaciones sobre la comprensión de la NdCyT por el profesorado reiteran el mismo mensaje negativo: una mayoría de profesores muestran creencias sobre NdC tradicionales, positivistas e idealistas. Asumen la ciencia como un cuerpo de conocimientos identificado con algunas de sus áreas (biología, física, química, etc.), con rasgos utilitaristas. Conceptualizan la tecnología como ciencia aplicada (no perciben una interacción mutua más profunda) o como artefactos, principalmente electrónicos (no incluyen diseños o procesos) y tienen dificultades para distinguir entre ciencia y tecnología y las relaciones CTS. Creen que el conocimiento científico no es diferente de otros tipos de conocimiento; que se desarrolla en diferentes estadios o niveles (hipótesis, teorías y leyes) que no se comprenden bien; que es relativamente definitivo, estable, verdadero y absoluto, porque

corresponde a hechos (en lugar de provisional y cambiante); que se genera aplicando un método universal, único, de etapas cíclicas y estandarizadas enfocado a probar el conocimiento, y objetivo, esto es, libre de interferencias contextuales (culturales, sociales, políticas, éticas, religiosas, etc.); y que los científicos individuales (se ignora el rol de la comunidad científica), se limitan a aplicar el método, registrar hechos que hablan por sí mismos, y organizar el conocimiento científico, sin apelar a la creatividad o la imaginación, ni al marco teórico previo, ni a la interpretación de las observaciones y hechos (Abell y Smith, 1994; Apostolou y Koulaidis, 2010; Brickhouse, 1990; Celik y Bayrakçeken, 2006; Irez, 2006; Lederman, 2008; Ma, 2009).

La enseñanza de naturaleza de ciencia y tecnología

La complejidad de los temas de NdCyT, en el proceso de su transposición a contenidos curriculares para su enseñanza en el aula, ha sido ampliamente reducida gracias a distintas líneas de investigación didáctica que confluyen en reconocer la existencia ciertas ideas que merecen un consenso entre los especialistas (Acevedo, Vázquez, Manassero y Acevedo, 2007; Lederman, 2008; Matthews, 2012; McComas y Olson, 1998; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl, 2003). Estas ideas de consenso representan unos rasgos característicos de CyT que son ampliamente compartidos por los especialistas en NdCyT, y, por tanto, se sitúan más allá de las controversias. Sin embargo, cabe matizar también que el consenso no es excusa para que su enseñanza también evite simplificaciones excesivas y deformadas. Un resumen sistematizado de los principales rasgos del consenso sobre NdCyT puede consultarse en Vázquez y Manassero (2012a).

Aunque los diferentes autores coinciden en un amplio conjunto de rasgos comunes, también es manifiesto que las propuestas de temas de consenso no coinciden exactamente entre sí. Este hecho subraya que, aunque es posible y viable el desarrollo de un currículo basado en consensos para la enseñanza de NdCyT, estos contenidos de consenso, que evitan los temas altamente controvertidos, son multifacéticos y dinámicos, y por ello, los especialistas no concuerdan exactamente en sus formulaciones. Esto tiene una implicación general para su enseñanza: incluso los contenidos consensuados no pueden enseñarse como conceptos acabados y memorizables, sino como retos para un aprendizaje enfocado a la comprensión y el análisis, desde una perspectiva relacional, abierta y crítica (Abd-el-Khalick y Lederman, 2000; Matthews, 2012).

Basada en la línea de investigación de contenidos de consenso sobre NdCyT, la investigación didáctica para mejorar el aprendizaje de los estudiantes y la enseñanza de los profesores acerca de NdCyT se ha centrado en los últimos años sobre el desarrollo curricular y la efectividad de la enseñanza en el aula. Ambos temas son complejos por la cantidad de factores cruzados intervinientes que impiden, limitan o facilitan la enseñanza de NdCyT, de modo que el esclarecimiento de la eficacia de los diferentes métodos se ha convertido en el objetivo de numerosas investigaciones en los últimos años (Abd-el-Khalick y Lederman, 2000; Lederman, 2008).

A pesar de las dificultades, la revisión de la literatura especializada permite concluir que el logro de una enseñanza de la NdCyT efectiva se consigue a través de dos condiciones clave:

- el carácter explícito de la enseñanza y
- la realización de actividades reflexivas sobre NdCyT.

El primero (explícito) se refiere al tratamiento intencional de los temas y contenidos de NdCyT, lo cual implica planificarlos educativamente en todos sus extremos (objetivos,

contenidos, actividades, metodología, evaluación) y aplicarlos en clase explícitamente, es decir, no vicariamente a través de actividades indirectas de NdCyT. El segundo (reflexión) se refiere a que los estudiantes deben desarrollar en clase actividades meta-cognitivas de reflexión sobre NdCyT como por ejemplo, actividades de exploración, análisis, discusión, debate, conclusión, argumentación, etc. (Abd-El-Khalick y Akerson, 2009; Acevedo, 2009).

Objetivos de esta investigación

La mayoría de estas investigaciones se han realizado en contextos anglosajones y con estudiantes que son profesores de ciencias en formación inicial. Las investigaciones en contextos educativos no anglosajones, y específicamente hispanos son más escasas (Guisasola y Morentin, 2007).

Este estudio afronta este campo abierto de investigación con el análisis del caso de un profesor de ciencias enrolado en el master de formación del profesorado, siguiendo pautas y usando instrumentos de un estudio de investigación más amplio (Vázquez-Alonso, Manassero-Mas, Bennàssar-Roig, y Ortiz-Bonnin, 2013). Aporta los resultados empíricos de la efectividad del modelo de enseñanza aplicado para mejorar la comprensión de la NdCyT por el profesor, y en consecuencia, aporta pautas e instrumentos básicos para diseñar una formación integral del profesorado de ciencias acerca de los temas de NdCyT (Abd-El-Khalick, 2012).

La perspectiva de esta investigación es educativa: la comprensión de NdCyT es considerada un componente central de la alfabetización científica para todos y como tal, se incorpora en los contenidos de los currículos escolares. Este estudio presenta los resultados de una investigación empírica acerca de la eficacia de formar sobre un aspecto de NdCyT – en este caso, la toma de decisiones científicas en investigaciones– a través de una secuencia de aprendizaje breve, específica y centrada en unas actividades de aprendizaje reflexivas acerca del tema de NdCyT citado, basadas en un caso histórico de descubrimiento: la predicción de la existencia de un nuevo planeta (Neptuno) y el cálculo teórico de su posición para su avistamiento.

Por ello, en este estudio de caso se comienza estableciendo la línea base de las creencias previas del profesor y se finaliza con la evaluación posterior a la experiencia de aprendizaje y formación sobre NdCyT centrada en la toma de decisiones científicas en investigaciones.

Metodología

El diseño de la investigación se ajusta a un diseño pre-post-test: una evaluación inicial de las ideas previas relacionadas con el tema es seguida de la intervención de enseñanza-aprendizaje (actividades de reflexión y análisis de una secuencia de aprendizaje sobre el tema), que tiene lugar antes de la segunda evaluación (post-test) para comprobar los cambios producidos y atribuibles a la intervención didáctica. El profesor en formación participante en esta experiencia es ciego respecto al diseño experimental de este estudio de caso, pues las tareas del diseño que cumplimenta son simplemente actividades habituales planificadas para el máster de formación.

Perfil del caso

El profesor en formación (denominado “el profesor”) de este caso es un hombre de 24 años, enrolado en el master de formación del profesorado de secundaria de ciencias, que había terminado un grado en ciencias químicas.

Instrumentos

Los instrumentos de investigación que se aplican en este análisis de caso son de dos tipos: el instrumento de intervención didáctica (secuencia de enseñanza aprendizaje) y el instrumento de evaluación de la mejora.

El instrumento de intervención didáctica es una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA) que comprende varios documentos y actividades. El primer documento de la SEA ofrece un esquema de la planificación completa de las actividades de una lección para enseñar los rasgos de NdCyT acerca de las investigaciones y la toma de decisiones científicas, basada en una breve lectura histórica sobre la predicción teórica del descubrimiento de un nuevo planeta (Neptuno), antes de su avistamiento (ver texto de lectura en el Anexo 2). El profesor debe estudiar las características de las actividades incluidas en la SEA y, a partir de ellas, deducir una visión global de la SEA que le permita proponer los elementos didácticos fundamentales de la misma (finalidad, objetivos, contenidos básicos, criterios de evaluación, etc.), es decir, a partir de las actividades de aula, el profesor debe inferir y proponer el diseño didáctico que soporta las actividades.

El segundo documento es una matriz esquemática vacía, que contiene las categorías del diseño de la planificación didáctica, pero sin los contenidos de cada categoría. A partir del estudio y análisis de las actividades concretas de la SEA, el profesor debe llenar y completar sobre la matriz esquemática, los contenidos didácticos para todas las categorías de la SEA, de modo que el producto resultante es el diseño completo de la SEA.

La eficacia de estas actividades para mejorar la comprensión del profesor sobre el aspecto de NdCyT estudiado se evalúa mediante un cuestionario estandarizado de papel y lápiz formado por varias cuestiones extraídas del Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS), un banco de un centenar de cuestiones que cubren una gran cantidad de temas de NdCyT. El COCTS es la versión española del VOSTS (Aikenhead y Ryan, 1992), cuyo contenido fue desarrollado empíricamente, a partir de entrevistas y respuestas abiertas dadas por estudiantes y profesores, que fueron sintetizadas en las diferentes frases que conforman las opciones múltiples dentro de cada pregunta. Lederman, Wade y Bell (1998, p. 610) consideran al VOSTS un instrumento válido y fiable para la investigación de las posiciones sobre naturaleza de la ciencia, cuya fiabilidad empírica fue analizada por Botton y Brown (1998) y Bennáassar, Vázquez, Manassero y García-Carmona (2010).

Cada cuestión del COCTS muestra un formato de opción múltiple similar, pero no igual a las demás: el pie de la cuestión plantea un problema STS, utilizando un lenguaje común y sencillo en un estilo no técnico, y le sigue una serie de frases (en número diferente para diferentes cuestiones), cada una marcada con una letra A, B, C ... Cada frase enuncia una razón particular que explica una posición específica (concepción) sobre el problema del pie (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2003). Cada cuestión se etiqueta con un número de cinco dígitos, cada uno de los cuales identifica las dimensiones, temas y sub-temas en que se organiza el COCTS.

Las cuestiones aplicadas en este estudio para la evaluación del impacto de la SEA específica de este estudio son aquellas relacionadas con su contenido (toma de decisiones científicas en las investigaciones), que se concretan en las tres cuestiones reseñadas en la tabla 1 para este caso. Cada una de ellas evalúa el tema que figura a su lado en la tabla (el texto completo de las cuestiones se ofrece en el anexo 1).

Los encuestados responden valorando su grado de acuerdo o desacuerdo (respuestas directas) con cada una de las frase que forman las cuestiones sobre una escala de nueve puntos (1 a 9, desacuerdo a acuerdo). Si un encuestado no desea valorar una frase, puede optar por una de

dos razones para no evaluarla (no entiendo o no tengo suficiente conocimiento sobre el tema) o dejarla sin respuesta (en blanco).

Tabla 1. Cuestiones aplicadas para la evaluación del impacto de la SEA como pre-test y post-test.

| Cuestiones | Temas / Subtemas |
|------------|---|
| 70221 | Controversias (Cierre por hechos) |
| 70611 | Universalidad de la ciencia (Personalidad del científico) |
| 90611 | Investigaciones científicas (Método) |

Cada puntuación directa de grado de acuerdo con una frase se transforma en un índice de frase, homogéneo, invariante y normalizado en el intervalo $[-1, 1]$, a través de un procedimiento de escalamiento que toma en cuenta la categoría de la frase (adecuada, plausible, ingenua) previamente asignado por un panel de jueces expertos (los detalles se han presentado en otros lugares Vázquez et al., 2005, 2006). Cuanto mayor (menor) es el índice, mejor (peor) es la concepción representada, según la visión actual de la historia, la filosofía y la sociología de CyT. Por lo tanto, cuanto más positivo y más cerca del valor máximo (+1) es un índice, la concepción del encuestado es más informada (más cercana a los puntos de vista actuales sobre NdCyT), mientras que cuanto más negativo y más cercano al valor mínimo (-1) es un índice, la concepción representada del encuestado es más desinformada, es decir, más alejada de los actuales puntos de vista sobre naturaleza de la CyT) (Acevedo et al., 2001; Manassero et al., 2001).

Tabla 2. Modelo explícito y reflexivo de formación de profesores de ciencias que se ha aplicado a la comprensión de un tema de NdCyT (toma de decisiones científicas en investigaciones).

| Instrumentos | Documentos | Actividades de Reflexión del profesor | Orden secuencial |
|---------------------------|-------------------|---|--|
| Intervención didáctica | Currículo de aula | Texto histórico + 4 actividades de aula | Lectura y análisis |
| | Diseño didáctico | Matriz esquemática vacía | Reconstruye los elementos didácticos (finalidad, objetivos, contenidos básicos, criterios de evaluación, etc.) |
| Instrumento de evaluación | Cuantitativa | Cuestiones de COCTS | Pre-test: Responde cuestiones |
| | | | Post-test: Responde cuestiones |
| | Cualitativa | Resultados de pre y post tests | Compara y reflexiona (Respuesta escrita) |
| | | 2 cuestiones (Explica... y Compara...) | Compara y reflexiona (Respuesta escrita) |

Procedimiento

El diseño de la experiencia cuyos resultados se presentan aquí se desarrolla en tres fases:

- una evaluación inicial, usando el instrumento de evaluación formado por las cuestiones del COCTS (el profesor responde las cuestiones),
- tratamiento experimental (un mes después de la evaluación inicial): desarrollo de las actividades de estudio y análisis de los documentos de la SEA sobre el tema de las investigaciones y la toma de decisiones científicas (lectura histórica y actividades de los

estudiantes). A partir del estudio de las actividades de la SEA, el profesor realiza una reconstrucción didáctica completa de la SEA (Kattmann y Duit, 1998), llenando de contenido un esquema vacío de la SEA, como instrumento de cambio conceptual en el profesor (Duit y Treagust, 2003).

iii) una evaluación final (dos semanas después del tratamiento), aplicando al profesor el mismo instrumento de evaluación inicial formado por las cuestiones del COCTS (el profesor es ciego a la repetición).

iv) una reflexión escrita del estudiante profesor acerca de sus respuestas iniciales y finales a las cuestiones de evaluación (el profesor recibe sus respuestas), con especial énfasis en el análisis de los cambios surgidos entre pre-test y post-test.

Para valorar la efectividad del tratamiento se comparan los resultados de la evaluación inicial y final según procedimientos estandarizados de valoración de las respuestas de los estudiantes (Bennassar et al. 2010). El profesor es ciego a la experiencia (no sabe lo que se está midiendo ni que el mismo instrumento se aplicará como evaluación final). Además, el profesor no ha recibido en clase instrucción sobre el tema relacionado con las cuestiones de evaluación, de modo que los potenciales efectos observados sean atribuibles al tratamiento aplicado de enseñanza y aprendizaje.

Resultados

Se presentan la producción cuantitativa del profesor, a partir de las comparaciones de las respuestas a las cuestiones entre la evaluación inicial y final, y la producción cualitativa emanada de su reflexión personal al ser realimentado con los resultados de sus respuestas.

Resultados cuantitativos

El primer resultado se refiere a la evaluación de la mejora en la comprensión del profesor de la NdCyT. El promedio ponderado por categorías de los índices de las frases de cada cuestión produce un índice global para cada cuestión que constituye una medida del efecto de mejora del tratamiento experimental sobre el tema representado por cada cuestión. La homogeneidad e invariancia de la medida que proveen los índices permiten la comparación de resultados entre cuestiones y entre los dos momentos de evaluación (inicial y final). Para ello, se comparan las evaluaciones inicial y final mediante los índices medios de las tres cuestiones de evaluación.

La tabla 3 contiene los índices promedios obtenidos para cada una de las tres cuestiones antes y después del tratamiento.

Los valores numéricos antes del tratamiento establecen que dos cuestiones (70221, Controversias y 70611, Universalidad de la ciencia) muestran índices medios moderadamente negativos, que representarían una comprensión deficiente de esos temas por el profesor. Por el contrario, la cuestión restante (90621, Investigaciones científicas) muestra un índice promedio moderadamente positivo, indicador que representaría una comprensión adecuada de este tema por el profesor.

Tabla 3. Resultados de los índices medios en las tres cuestiones para la evaluación inicial y final.

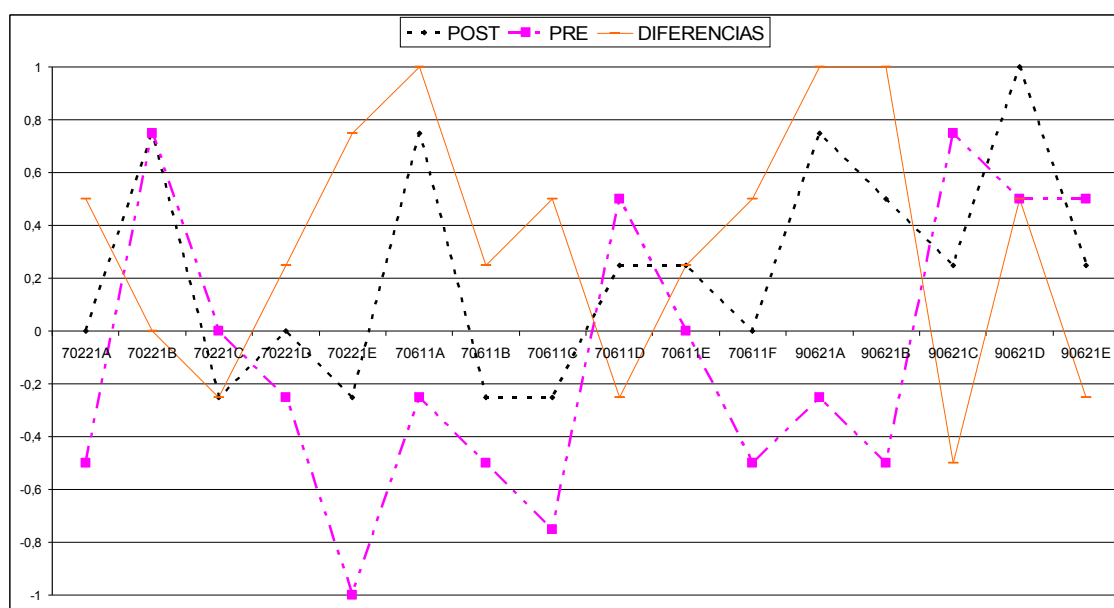
| | Cuestiones | | |
|-------------|---|---|--|
| | 70221 Controversias (Cierre por hechos) | 70611 Universalidad de la ciencia (Personalidad del científico) | 90621 Investigaciones científicas (Método) |
| Post-test | 0,050 | 0,125 | 0,550 |
| Pre-test | -0,200 | -0,250 | 0,200 |
| Diferencias | 0,250 | 0,375 | 0,350 |

Los valores numéricos posteriores al tratamiento muestran que todas las cuestiones alcanzan promedios positivos. La cuestión 70221 alcanza un índice medio positivo pero muy neutro (en torno a cero), que representaría aún una comprensión insuficiente de este tema por el estudiante profesor. La cuestión 70611 logra un índice promedio moderadamente positivo, que representa una comprensión adecuada de este tema. La cuestión 90621 logra un índice promedio bastante positivo, que representaría una comprensión bastante adecuada de este tema.

Los valores de las diferencias entre los promedios pre- y post-test en las tres cuestiones son claramente positivos, y por tanto, representarían una mejora relevante en la comprensión de esos tres temas por el profesor y que cabría atribuir al tratamiento recibido. La mejora mayor aparece en la cuestión que había obtenido el índice más bajo antes del tratamiento (70611) y es también grande en la cuestión del método (90611), siendo menor la mejora en la cuestión referida a las controversias científicas (70221).

La ganancia positiva del profesor en las tres cuestiones representa una mejora en la comprensión de la NdCyT y, por tanto, un efecto positivo del tratamiento experimental aplicado de formación en NdCyT.

El análisis pormenorizado de los resultados en los índices de cada una de las frases contenidas en las cuestiones presenta un perfil más rico y complejo de la mejora en la comprensión experimentada por el profesor entre la evaluación inicial y final sobre estas tres cuestiones (figura 1).

**Figura 1.** Índices de cada una de las frases de las tres cuestiones de evaluación para la evaluación inicial y final y las diferencias entre ambas.

Los resultados de los índices de las frases en la figura 1 muestran un perfil generalizado de mejores índices en la evaluación final respecto a la inicial, visualizados en que la línea punteada oscura correspondiente al post-test está en casi todas las frases por encima de la línea punteada rosa con puntos cuadrados correspondiente al pre-test, y por tanto, el perfil de la línea calabaza continua que muestra las diferencias de mejora en cada frase (posterior menos anterior) es positivo en la mayoría de las frases.

El análisis detallado de estas mejoras en cada frase es una prueba también de la complejidad de la comprensión de los temas de NdCyT, pues aunque el patrón de mejora es muy claro, sin embargo no es homogéneo, es decir, la magnitud de la mejora no es similar en todas las frases, e incluso se observan algunas frases que muestran un perfil de empeoramiento.

Ocho frases muestran mejoras positivas y grandes (mayores que 0.4). En particular, cabe destacar tres frases cuya mejora es muy grande (una unidad). Dos de ellas (90621A, 90621B) se refieren a la cuestión 90621 (método científico) y son dos frases ingenuas, es decir, frases que expresan una posición opuesta a los especialistas (el método científico –a- asegura resultados válidos, claros, lógicos y exactos y –b- debería funcionar bien para la mayoría de los científicos). El profesor mostró inicialmente un cierto grado de acuerdo con ambas (y por ello tuvo índices previos negativos), mientras después obtuvo puntuaciones muy positivas, que representan un cambio a mostrar alto desacuerdo con ellas (acuerdos con los especialistas).

La tercera frase cuya mejora es muy grande (70611A) muestra un perfil similar de mejora. Esta frase sostiene una idea ingenua, es decir, expresa una posición opuesta a los especialistas (El carácter del científico NO influye en el contenido de una teoría... porque el contenido se basa en hechos y en el método científico, que no están influidos por aspectos personales) que alude a la presunta objetividad de la ciencia y los científicos. Análogamente a las anteriores, el profesor mostró inicialmente un cierto grado de acuerdo (y por ello obtuvo un índice previo negativo), mientras después obtuvo una puntuación muy positiva (desacuerdo alto con la idea ingenua), que representan un cambio relevante.

La complejidad de la comprensión de NdCyT se prueba en cuatro frases cuyas diferencias son negativas, es decir, que no corresponde a mejora sino a empeoramiento. Sin embargo, las diferencias son muy pequeñas, con excepción de la frase 90621C, y por ello, se analiza con un poco de detalle. Esta frase expresa una idea adecuada es decir, acorde con los especialistas (El método científico es útil en muchos casos, pero no asegura resultados, por tanto, los mejores científicos también tendrán originalidad y creatividad) que reconoce la limitación del método y la influencia de la creatividad. El profesor mostró inicialmente un grado de acuerdo alto (y por ello obtuvo un índice previo muy positivo), mientras después obtuvo una puntuación positiva más baja, que representa un cambio hacia un acuerdo menor con la idea adecuada.

Otras frases muestran mejoras positivas pero inferiores a las analizadas, y otras dos frases no muestran cambio, pues la valoración anterior y posterior es idéntica.

En suma, el análisis detallado de los cambios conceptuales pone en evidencia la complejidad de los temas de NdCyT y la dificultad de lograr una mejora en la comprensión de sus diferentes y múltiples aspectos y facetas.

Resultados cualitativos

El profesor fue realimentado con la información de sus respuestas directas de acuerdo y desacuerdo dadas en la evaluación inicial y final (no los índices elaborados). Ante estos datos, se le pidió al profesor una reflexión personal sobre su pensamiento acerca de los temas de NdCyT, respondiendo las siguientes propuestas para cada cuestión:

1. Explica las razones que justifican tus valoraciones en esta cuestión.

2. Compara tus primeras respuestas con las segundas, y en caso que tu opinión haya cambiado en algo, explica las razones que justifican tus cambios en cada cuestión.

La tabla 4 muestra tres textos extractados literalmente de las respuestas del profesor a la primera pregunta.

El comentario a la cuestión 70221 (controversias) justifica las respuestas finales dadas al test y justifica la baja puntuación obtenida. Por un lado, resalta la centralidad de la opción B (se basan en algo más que en hechos), pero matizando que los hechos son el factor más fuerte (bajo índice de A y “...lo más objetivos posibles”); por otro lado, resalta ingenuamente la influencia del carácter (bajo índice de la C), pero falla en reconocer la relativa influencia de la opinión y los beneficios (no citados, y bajos índices de D y E).

Tabla 4. Textos extractados literalmente de las respuestas del profesor a la primera pregunta (Explica las razones que justifican tus valoraciones).

| Cuestiones | Respuestas |
|------------|--|
| 70221 | <i>“Las decisiones de los científicos se basan en algo más que en los hechos. En ellas influyen otras variables como el carácter del científico, la estructura lógica de la teoría, etc. Los científicos deben ser lo más objetivos posibles.”</i> |
| 70611 | <i>“El carácter del científico puede influir ligeramente en el contenido científico de una teoría, ya que aunque se base en hechos, pueden realizar las investigaciones de manera diferente, obteniendo resultados ligeramente diferentes. Además, el carácter influye en la forma de interpretar los hechos.”</i> |
| 90621 | <i>“El método científico suele ser la mejor opción para realizar un trabajo científico, pero es cierto que muchos descubrimientos se hicieron por casualidad.”</i> |

La respuesta a 70611 (universalidad) también justifica el perfil de respuestas cuantitativas obtenido, pues ratifica ingenuamente la importancia del carácter del científico insinuada en el comentario anterior, aunque la valore ahora como “ligera” (bajos índices de B y C), porque la reconoce en la realización de experimentos e interpretaciones, pero no tanto como debiera por las razones de pensar diferente o los sesgos (bajos índices de E y F).

La respuesta a 90621 (método) es la más débil como justificación del perfil de respuestas cuantitativas, paradójicamente, porque es la cuestión con el índice más alto de las tres. No afronta con claridad la relación ingenua entre método y seguridad de resultados (bajo índice en A y B) y tampoco la creatividad (alto índice en C y D), a pesar que ambos rasgos son el centro de la cuestión. Por el contrario, cita la casualidad como argumento de confrontación alternativo al método científico.

En la segunda pregunta se pedía al profesor una explicación de los cambios producidos en su pensamiento, a la vista de sus respuestas iniciales y finales (tabla 5).

El primer comentario sugiere una minusvaloración del propio aprendizaje (no han cambiado), pues al menos en la frase 70221A cambia mucho, pasando de un acuerdo con una idea ingenua a una valoración indefinida, y aún hay un cambio relevante de mayor magnitud en la frase 70221E.

El segundo comentario reconoce el cambio, pero lo valora como ligero, aun cuando todas las frases excepto una muestran cambios positivos; el profesor identifica también la tendencia del cambio (“hacia pensar que el carácter influye en el resultado”) que viene ratificada por sus respuestas, y la causa de este cambio (“los debates en clase”).

La respuesta sobre el cambio acerca del método científico (90621), a pesar de ser la cuestión que obtiene cuantitativamente el mayor cambio positivo de las tres, y que el profesor reconoce, muestra una contradicción al justificarlo con la expresión de una concepción ingenua muy arraigada sobre el método científico (“el método científico es el que se debe seguir”).

Tabla 5. Textos extractados literalmente de las respuestas del profesor a la segunda pregunta (explica las razones que justifican tus cambios).

| Cuestiones | Respuestas |
|------------|--|
| 70221 | <i>“Mis respuestas no han cambiado significativamente. Solamente la primera, por lo que pienso que las decisiones no se basan exclusivamente en los hechos.”</i> |
| 70611 | <i>“Mis respuestas en esta pregunta han cambiado ligeramente. Se puede observar una tendencia hacia pensar que el carácter influye en el resultado. Seguramente, este cambio se deba a que los debates en clase me han llevado a comprobar diversidad de opiniones en las mismas teorías.”</i> |
| 90621 | <i>“Mis respuestas parecen haber cambiado en el sentido de la casualidad, pero simplemente pienso que sí, que ha habido en el tiempo muchos descubrimientos por casualidad. Aun así, sigo pensando que el método científico es el que se debe seguir.”</i> |

En resumen, los cambios propios expresados por las respuestas cualitativas son difíciles de reconocer a través del auto-análisis realizado por el profesor. Ello es fuente de identificación de ideas contradictorias con los cambios positivos hallados en las respuestas cuantitativas, un hecho habitual en temas de NdCyT.

Conclusiones

Las actividades de desarrollo del currículo (diseño, planificación, elaboración y aplicación de secuencias de enseñanza-aprendizaje) constituyen aprendizajes básicos para el conocimiento didáctico del contenido de materias de ciencias en la formación del profesorado e influyen sobre sus prácticas educativas (Hanuscín, Lee y Akerson, 2011; Lederman, 2008; Tsai, 2007). En este estudio, un conjunto de estas actividades, habituales en la formación del profesorado, se han organizado, aplicado y complementado a través de la reflexión didáctica, para mejorar la comprensión del profesorado en formación inicial, acerca del tema de NdCyT sobre toma de decisiones científicas en investigaciones. Este tema se ha ejemplificado mediante un caso histórico, como es la predicción de un nuevo planeta (Neptuno) antes de producirse su avistamiento; las actividades de reflexión del profesor han consistido en diseñar, planificar y elaborar los elementos didácticos de una SEA para enseñar este tema a los alumnos, a partir del conocimiento de los materiales y actividades de los alumnos. Los resultados empíricos obtenidos del análisis de caso de un profesor en formación inicial ratifican la eficacia del método reflexivo y explícito, concretando la mejora en tres aspectos: Controversias (cierres por hechos), Universalidad de la ciencia (influencia de la personalidad del científico) e Investigaciones científicas (método científico). Así, este estudio se añade al creciente cuerpo de conocimientos que avalan la eficacia de diversos métodos inspirados en la enseñanza explícita y reflexiva (p.e. Acevedo, 2009; Lederman, 2008).

También cabe reseñar que la auto-evaluación cualitativa del profesor sobre la realimentación de sus valoraciones directas, anteriores y posteriores, y los cambios entre ambos, muestran una tendencia a la minimización, es decir, el profesor tiende a percibir los cambios como menores de lo que son en realidad, aun cuando en algunos casos sean relevantes. Seguramente, la falta

de formación sistemática sobre historia, filosofía y sociología de la ciencia impide al profesor percibir la realidad e importancia de esos cambios, pero también porque, psicológicamente, las personas experimentan una cierta parálisis cuando se enfrentan a sus propias inconsistencias (Kahneman, 2012).

Sostenido por su eficacia empírica, quizá la proyección más útil y transversal (a otros programas de formación de profesores) de este estudio es la propuesta de un modelo de desarrollo docente para profesorado en formación inicial basado en la enseñanza de NdCyT. El modelo es integral, pues además sirve como instrumento de desarrollo de la formación general. Este modelo se basa en un diseño cuasi experimental con evaluación cuantitativa test-retest de los cambios producidos por un tratamiento de planificación didáctica de una SEA sobre un tema concreto de NdCyT similar al de Celik y Bayrakçeken (2006). El núcleo del modelo son las actividades personales de reflexión del profesor, a partir del trabajo de estudio y análisis de los materiales y actividades de la SEA y la realimentación de sus propias respuestas en pretest y postest. Dentro del modelo, el instrumento estandarizado de evaluación cuantitativa (COCTS), válido y fiable, permite su empleo universal sin necesidad de conocimientos profundos sobre NdCyT (Bennàssar et al., 2010; Vázquez et al., 2005, 2006).

El modelo de formación expuesto sucintamente, limitado aquí a las reflexiones del profesor en formación, es susceptible de ampliarse con actividades adicionales de argumentación, discusión y conclusión acerca de los aspectos contradictorios entre las valoraciones y reflexiones personales, cuantitativas (respuestas a cuestiones) y cualitativas (respuestas a preguntas), que han sido aludidos en los resultados. El escenario de esta actividad bajo la coordinación del tutor (formador o investigador) podría ser el formato de una entrevista personal o el debate colectivo entre el propio grupo de iguales (grupos de estudiantes), que comparten el estudio de temas similares. En todo caso, esta actividad de ampliación requiere cierta especialización en NdCyT del coordinador como también ha sugerido Abd-El-Khalick (2012).

El modelo de formación evalúa cuantitativamente la eficacia del tratamiento para mejorar la comprensión de la NdCyT del profesor, en este caso en los aspectos citados de tres cuestiones, que permite identificar las ideas concretas donde ese cambio ha sido mayor y menor. La reflexión cualitativa del profesor sobre sus propias respuestas ratifica, por un lado, la validez de las respuestas al cuestionario escrito, y por otro, ayuda a comprender los múltiples matices del pensamiento del profesorado sobre NdCyT (Abd-El-Khalick, 2006; Hanuscin, Lee y Akerson, 2011). Al tiempo, el contraste entre la evaluación cuantitativa y la evaluación cualitativa realizada por el profesor sobre su propia ejecución, apunta un aspecto muy importante para la investigación de NdCYT, a saber, el riesgo de las evaluaciones de NdCyT puramente cualitativas, que se basan en seleccionar e interpretar algunas frases redactadas por los estudiantes (Abi-El-Mona y Abd-El-Khalick, 2011). El contraste ofrecido por este estudio pone de manifiesto cómo el propio profesor, cuando responde por escrito a una entrevista, puede desviarse y contradecir ideas previamente valoradas en otro sentido en el formato de cuestiones; por ello, el uso conjunto y complementario de métodos cuantitativos y cualitativos, como apoyo a la reflexión nuclear sobre NdCyT, constituye otra cualidad destacable del modelo. Además, los rasgos de este modelo reflexivo permiten superar los dos inconvenientes señalados por Abd-El-Khalick (2012, pp. 1055-1056) para las reflexiones sobre NdCyT, a saber, la dificultad de comparar entre experiencias reales e investigaciones planificadas y la autenticidad del contexto de la reflexión, situado en un entorno familiar al aprendiz.

La evaluación, refuerzo y consolidación del desarrollo producido en este caso confirma la eficacia del modelo formativo. La ampliación del horizonte de un estudio de caso, mediante

investigación y actividades adicionales, puede mejorar el modelo formativo. En particular, se sugieren tres aspectos de mejora: la participación del formador como orientador del aprendizaje logrado, la extensión de los procesos de reflexión personal a una dimensión social, incluyendo debates colectivos sobre NdCyT en el seno del grupo de profesores en formación y la profundización personalizada del conocimiento didáctico del contenido de NdCyT (Akerson, Morrison y McDuffie, 2006).

En suma, los resultados del modelo reflexivo de formación confirman su validez específica para mejorar la comprensión del profesorado sobre NdCyT, a través de actividades de reflexión compartidas y una evaluación estandarizada replicable, a la vez cuantitativa y cualitativa, que facilitan su disseminación y uso por otros formadores. Además, las tareas específicas desarrolladas contribuyen a la competencia general de formación en el conocimiento didáctico del contenido de ciencias.

Referencias bibliográficas

- AAAS American Association for the Advancement of Science (1989). *Project 2061: Science for all Americans*. Washington DC: AAAS.
- AAAS American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for Science Literacy: A project 2061 report*. New York: Oxford University Press.
- Abd-El-Khalick, F. (2012). Nature of Science in Science Education: Toward a Coherent Framework for Synergistic Research and Development. En B. J. Fraser et al. (eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1041-1060). New York: Springer-Verlag, DOI 10.1007/978-1-4020-9041-7_64.
- Abd-el-Khalick, F., Bell, R. L., y Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- Abd-el-Khalick, F. y Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- Abd-el-Khalick, F. y Akerson, V. (2009). The influence of metacognitive training on preservice elementary teachers' conceptions of nature of science. *International Journal of Science Education*, 31, 2161-2184.
- Abell, S. K. y Smith, D. C. (1994). What is science? Pre-service elementary teachers' conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 16, 475-487.
- Abi-El-Mona, I. y Abd-El-Khalick, F. (2011): Perceptions of the Nature and 'Goodness' of Argument among College Students, Science Teachers, and Scientists. *International Journal of Science Education*, 33(4), 573-605.
- Acevedo, J. A. (2009). Enfoques Explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 355-386. [\[En línea\]](#)
- Acevedo, J. A., Acevedo, P., Manassero, M. A. y Vázquez, A. (2001). Avances metodológicos en la investigación sobre evaluación de actitudes y creencias CTS. *Revista Iberoamericana de Educación*. [\[En línea\]](#)

- Acevedo, J. A., Vázquez, A., Manassero, M.A., y P. Acevedo (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4, 2, 202-225. [\[En línea\]](#)
- Aikenhead, G. S. y Ryan, A. G. (1992). The development of a new instrument: "Views on science-technology-society" (VOSTS). *Science Education*, 76, 5, 477-491.
- Akerson, V. L., Morrison, J. A., y Mcduffie, A. R. (2006). One course is not enough: preservice elementary teachers' retention of improved views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(2), 194-213.
- Apostolou, A. y Koulaidis, V. (2010). Epistemology and science education: a study of epistemological views of teachers. *Research in Science & Technological Education*, 28(2), 149-166.
- Bennàssar, A., Vázquez, A., Manassero M. A., y García-Carmona, A. (Coor.). (2010). *Ciencia, tecnología y sociedad en Iberoamérica: Una evaluación de la comprensión de la naturaleza de ciencia y tecnología*. Madrid: Centro de Altos Estudios Universitarios de la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI). [\[En línea\]](#)
- Bennàssar, A., García-Carmona, A., Vázquez, A., y Manassero M. A. (2010). Introducción: Educación científica y naturaleza de la ciencia. En A. Bennàssar, A. Vázquez, M. A. Manassero y A. García-Carmona (Coor.), *Ciencia, tecnología y sociedad en Iberoamérica: Una evaluación de la comprensión de la naturaleza de ciencia y tecnología* (pp. 15-24). Madrid: Centro de Altos Estudios Universitarios de la OEI. [\[En línea\]](#)
- Botton, C. y Brown, C. (1998). The reliability of some VOSTS items when used with preservice secondary science teachers in England. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 53-71.
- Brickhouse, N.W. (1990). Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, 41, 53-62.
- Celik, S. y Bayrakçeken, S. (2006). The effect of a 'Science, Technology and Society' course on prospective teachers' conceptions of the nature of science. *Research in Science & Technological Education*, 24(2), 255-273
- Duit, R., y Treagust, D. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Duschl, R.A. (1988). Abandoning the scientific legacy of science education. *Science Education*, 72, 51-62.
- Manassero, M. A., Vázquez, A., y Acevedo, J. A. (2001). *Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació i Cultura del Govern de les Illes Balears.
- Guisasola, J. y Morentin, M. (2007). ¿Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de Educación Primaria? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 246-262.
- Hodson, D. (1988). Towards a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72, 19-40.
- Hodson, D. (2009). *Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and value*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Hanuscin, D. L., Lee M. H. y Akerson V. L. (2011). Elementary Teachers Pedagogical Content Knowledge for Teaching the Nature of Science. *Science Education*, 95(1), 145-167.

- Irez, S. (2006). Are we prepared? An assessment of preservice science teacher educators' beliefs about nature of science. *Science Education*, 90, 1113-1143.
- Kahneman, D. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Madrid: Debate.
- Kattmann, U., y Duit, R. G. H. (1998). The model of educational reconstruction. En H. Bayrhuber y F. Brinkman (Eds.), *What-Why-How? Research in Didaktik of biology* (pp. 253-262). Kiel: IPN.
- Lederman, N. G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practices: factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 916-929.
- Lederman, N. G. (2008). Nature of science: past, present, and future. En S. K. Abell, y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ma, H. (2009). Chinese Secondary School Science Teachers' Understanding of the Nature of Science Emerging from Their Views of Nature. *Research in Science Education*, 39(5), 701-724.
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. London: Routledge.
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). En M. S. Khine (Ed.), *Advances in Nature of Science Research. Concepts and Methodologies*, (pp. 3-26). Dordrecht: Springer.
- McComas, W. F., y Olson, J. K. (1998). The nature of science in international science education standards documents. En W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: rationales and strategies* (pp. 41-52). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Mellado, V. (1998). Preservice teachers' classroom practices and their conceptions of the nature of science. En B.J. Fraser, y K.G. Tobin, (eds.), *International Handbook of Science Education*, pp. 1093-1110, Londres: Kluwer Academic Publishers.
- Millar, R. (2006). Twenty First Century Science: insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499-1521.
- Millar, R., y Osborne, J. (Eds.) (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: Kings College.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. y Duschl, R. (2003). What "Ideas-about-Science" Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.
- Rudolph, J. L. (2000). Reconsidering the 'nature of science' as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 32(3), 403-419.
- Sismondo, S. (2010). *An introduction to science and technology studies* (Second edition). Chichester: Wiley-Blackwell.
- Tala, S. (2009). Unified View of Science and Technology for Education: Technoscience and Technoscience Education. *Science & Education*, 18, 275-298.
- Tsai, C-C. (2007). Teachers' scientific epistemological views: the coherence with instruction and students' views. *Science Education*, 91(2), 222-243.

- Vázquez–Alonso, Á., y Manassero–Mas, M. A. (2012a). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9(1), 2-33. En línea en: <http://hdl.handle.net/10498/14621>
- Vázquez–Alonso, Á.; Manassero–Mas, M. A. (2012b). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 2): Una revisión desde los currículos de ciencias y la competencia PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9(1), 34-55. En línea en: <http://hdl.handle.net/10498/14623>
- Vázquez–Alonso, Á., Manassero–Mas, M. A., Bennàssar–Roig, A., y Ortiz–Bonnin, S. (2013). Proyecto EANCYT: Enseñar, aprender y evaluar sobre naturaleza de la ciencia y tecnología. P. Membiela, N. Casado y M^a I. Cebreiros (eds.). *Retos y perspectivas en la enseñanza de las ciencias* (pp. 283-289). Ourense: Educación Editora.
- Vázquez, A., Manassero, M. A., y Acevedo, J. A. (2005). Quantitative analysis of complex multiple-choice items in science technology and society: Item scaling. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 7 (1). <http://redie.uabc.mx/vol7no1/contents-vazquez.html>
- Vázquez, A., Manassero, M. A. y Acevedo, J. A. (2006). An Analysis of Complex Multiple-Choice Science-Technology-Society Items: Methodological Development and Preliminary Results. *Science Education*, 90(4), 681-706.

Anexo 1. Cuestiones de evaluación.

70221 Cuando se propone una nueva teoría científica, los científicos deben decidir si la aceptan o no. Su decisión se basa objetivamente en los hechos que apoyan la teoría; no está influida por sus sentimientos subjetivos o por motivaciones personales.

___ A. Las decisiones de los científicos se basan exclusivamente en los hechos, en caso contrario la teoría no podría ser adecuadamente apoyada y podría ser inexacta, inútil o, incluso, perjudicial.

___ B. Las decisiones de los científicos se basan en algo más que en los hechos solamente. Se basan en que la teoría haya sido comprobada con éxito muchas veces, en comparar su estructura lógica con otras teorías, y en la sencillez con que la teoría explica todos los hechos.

___ C. Depende del carácter de cada científico. Algunos científicos estarán influidos por sus sentimientos personales, mientras que otros se cumplirán su deber de tomar sus decisiones basándose sólo en los hechos.

___ D. Puesto que los científicos son humanos, sus decisiones serán influidas, en alguna medida, por sus propios sentimientos internos, por su opinión sobre la teoría, o por beneficios personales tales como fama, seguridad en el empleo o dinero.

___ E. Las decisiones de los científicos se basan menos en los hechos y más en sus propios sentimientos, su opinión personal sobre la teoría, o en los beneficios personales, tales como fama, seguridad en el empleo o dinero.

70611 Con los mismos conocimientos básicos, dos científicos pueden desarrollar la misma teoría independientemente uno de otro. El carácter del científico NO influye en el contenido de una teoría.

El carácter del científico NO influye en el contenido de una teoría:

___ A. porque el contenido se basa en hechos y en el método científico, que no están influidos por aspectos personales.

___ B. porque el contenido se basa en hechos y éstos no están influidos por aspectos personales. Sin embargo, la forma en que un científico realiza un experimento estará influida por su carácter.

___ C. porque el contenido se basa en hechos. Sin embargo, la forma en que un científico interpreta los hechos estará influida por su carácter.

El carácter del científico influirá en el contenido de una teoría:

___ D. porque diferentes científicos realizan la investigación de manera diferente (por ejemplo, la probarán más profundamente o se plantearán cuestiones un poco diferentes). Por tanto, obtendrán diferentes resultados. Entonces estos resultados influirán en el contenido de una teoría.

___ E. porque diferentes científicos pensarán de manera diferente y tendrán ideas u opiniones un poco diferentes.

___ F. porque el contenido de una teoría puede ser influido por lo que un científico quiere creer; los sesgos también influyen.

90621 Los mejores científicos son los que siguen las etapas del método científico.

___ A. El método científico asegura resultados válidos, claros, lógicos y exactos. Por tanto, la mayoría de los científicos seguirán las etapas del método científico.

___ B. El método científico, tal como se enseña en las clases, debería funcionar bien para la mayoría de los científicos.

___ C. El método científico es útil en muchos casos, pero no asegura resultados. Por tanto, los mejores científicos también tendrán originalidad y creatividad.

___ D. Los mejores científicos son aquellos que usan cualquier método para obtener resultados favorables (incluyendo la imaginación y la creatividad).

___ E. Muchos descubrimientos científicos fueron hechos por casualidad, y no siguiendo el método científico.

Anexo 2. Texto histórico que forma la base de la secuencia de enseñanza aprendizaje.

Un nuevo planeta

Hasta 1781, los astrónomos pensaban que había seis planetas en el sistema solar. Entonces, un astrónomo observó un séptimo planeta, Urano. No se había observado antes porque el brillo de Urano es muy débil en el cielo nocturno, debido a que Urano está mucho más lejos del Sol que los otros planetas.

Los astrónomos eran capaces de explicar y predecir el movimiento de los planetas con las leyes de Newton del movimiento y la gravitación. Sin embargo, había un problema. El camino en el cielo del planeta Urano tiene pequeños "tambaleos". Su movimiento no coincide exactamente con las predicciones.

Algunos astrónomos pensaron, "Tal vez la ley de gravitación de Newton no se aplica a grandes distancias del Sol". Pero las leyes de Newton llevaron a muchas predicciones exitosas por lo que fue difícil de aceptar que podían estar equivocadas. Así que muchos astrónomos pensaron que las leyes de Newton son correctas y que debe haber otra explicación para el movimiento de Urano.

En 1843, dos astrónomos, John Adams en Inglaterra y Urbain Le Verrier en Francia, llegaron de forma independiente a la misma idea. Tal vez, pensaron, hay otro planeta más allá de Urano - y la fuerza gravitacional del planeta desconocido está afectando el movimiento de Urano. Utilizando las leyes de Newton, los astrónomos calcularon exactamente hacia dónde mirar en el cielo nocturno para ver este nuevo planeta.

En 1846, otro astrónomo, Johan Galle, apuntó su telescopio en la dirección que Adams y Le Verrier predijeron. Con cierta sorpresa, Galle cuenta que había un objeto muy débil en el cielo nocturno. Mediante la observación durante varias noches, demostró que el objeto débil se movía sobre las estrellas de fondo. Se trataba de otro planeta. Fue llamado Neptuno.